



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ciencias de la Tierra

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CONSTRUCCIÓN
DEL “PROYECTO EMBALSE DE RELAVE N°3, EL
ARENAL”**

Tesis de pregrado para optar al título de Ingeniero Civil En Minas

AUTOR

NICOLÁS ESTEBAN CONSTANCIO VALENZUELA

PROFESOR GUÍA

JAVIER SIERRA VILLALOBOS

SANTIAGO DE CHILE, DICIEMBRE 2018



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ciencias de la Tierra

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y PROPIEDAD

Yo, **Nicolás Esteban Constancio Valenzuela**, declaro que este documento no incorpora material de otros autores sin identificar debidamente la fuente.

Santiago, diciembre de 2018

Firma del alumno

*A mis padres, por todo su amor
y apoyo durante toda mi vida*

Agradecimientos

Quisiera agradecer primeramente a todos los profesores que fueron parte de mi formación académica, por su transmisión de conocimientos y por acercarme con sus clases cada vez más a la carrera y profesión que me acompañará toda mi vida.

Gracias a mi profesor guía Javier Sierra por el apoyo y la ayuda durante el semestre, sobre todo en la última parte de mi tesis la cual sin sus consejos y experiencia en el tema no habría finalizado de forma correcta.

También agradecer a la profesora Patricia Arancibia, por acercarme al proyecto y proponerme la idea y el desafío de realizar el tema de tesis sumado también a las constantes ayudas durante el tiempo que compartimos de trabajo.

Agradecer también a las personas que conocí durante los años de universidad, gracias a cada uno por ser parte de mi vida y por las experiencias vividas a lo largo de todo este proceso, especialmente a mis mejores amigos, Miluska, Patricio y Diego por todas las aventuras, el apoyo y motivación constante y sobre todo por su amistad durante estos seis años con altos y bajos, pero siempre unidos como una familia.

Agradecer especialmente a mi Yasna, gracias por tanto amor y comprensión durante estos dos años juntos, gracias por estar siempre a mi lado y apoyarme en cada decisión que tomé y que tomamos juntos, eres un pilar fundamental en mi vida y gracias por hacerme crecer como persona y aprender a madurar juntos, eres más que grande mi reina y juntos a por más logros, te amo.

Agradecer a toda mi familia, especialmente a mi abuelo Juan, tata Cloro y tío Manuel que fueron parte importante de mi vida, un gran abrazo donde sea que estén. A mi lela, mi viejita linda que me crio y me ayudó en gran parte de mi infancia, gracias muchas por su ayuda, amor y sabiduría que hasta el día de hoy me sigue dando, sin usted no habría aprendido tanto sobre cómo ser una buena persona.

Finalmente, pero no menos importante, agradecer a mis padres Magaly y Esteban, por su motivación, amor, risas, viajes y constante apoyo en cada decisión que tomé, sin ustedes no sería el hombre que soy hoy, de ustedes aprendí que el esfuerzo trae sus frutos y espero seguir sus grandes pasos, los amo demasiado.

Resumen ejecutivo

El documento presentado a continuación tiene como objetivo realizar la evaluación económica para la construcción del Proyecto Embalse de Relaves N°3, El Arenal.

Se realizaron los diferentes estudios en base al proyecto con el fin de poder determinar la mejor opción de inversión y de gastos operativos, considerando que la planta actualmente no se encuentra operativa.

Se estudian 3 posibles casos, considerando la opción de depositar acorde a lo que la planta se encontraba depositando antes de ser paralizada (24 tpd de relave), así como también las opciones acordes al proyecto donde se presenta una depositación diaria de 150 toneladas por día de relave. Conociendo lo que la planta estaba depositando, sumado a que presentan un relave el cual no está normalizado, se lleva a cabo el planteamiento de enviar los relaves antiguos mediante tuberías o camiones.

Los resultados considerando las 3 opciones llevan a una inversión inicial o CAPEX de 645,114 US\$ para la depositación de relaves frescos, un CAPEX de 677,729 US\$ para la depositación de relaves frescos más el envío de relaves antiguos mediante camiones y un CAPEX para la tercera opción depositando relaves frescos y la depositación de relaves mediante tuberías de 647,189 US\$.

La decisión de la mejor opción se lleva a cabo considerando los parámetros operativos y de gastos de capital, con el fin de poder estimar un valor aproximado para que la planta vuelva a su funcionamiento normal, además de considerar la opción de normalizar el relave antiguo mediante dos posibles opciones.

Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos y alcances	3
2.1. Objetivos Generales	3
2.2. Objetivos Específicos	3
2.3. Alcances	3
3. Marco Teórico	4
3.1. Conceptos básicos y generalidades sobre los relaves	4
3.2. Tipos de Depósitos Relaves	6
3.2.1. Tranque de Relaves	6
3.2.2. Embalse de Relave	9
3.2.3. Relave Espesado	9
3.2.4. Relave Filtrado	10
3.2.5. Relave en Pasta	10
3.3. Construcción, operación y control de relaves	11
3.3.1. Construcción.....	11
3.3.2. Operación	12
3.3.3. Control.....	13
4. Desarrollo	14
4.1 Recopilación de datos de “PROYECTO EMBALSE DE RELAVE N°3, EL ARENAL” versus datos reales del proyecto.	14
4.2 Comparación de datos de “Proyecto Embalse De Relave N°3, El Arenal” versus datos reales del proyecto y parámetros no considerados.	21
4.2.1. Ritmo de almacenamiento diario	21
4.2.2. Clima	22
4.3 Estimación vida útil del proyecto.....	24

4.4	Materiales e insumos para la construcción del embalse de relaves ...	26
4.4.1.	Carpeta geosintética de bentonita (GCL) 6 mm espesor.....	26
4.4.2.	Geomembrana HDPE 1,5 mm espesor; dens: 0.94 G/cm3	27
4.4.3.	Construcción defensa fluvial.....	27
4.4.4.	Bomba centrífuga eléctrica de 5 KW	27
4.4.5.	Tubería HDPE tipo PE 100 clase PN 10 de 4" de diámetro resist. 835.5 kPa.....	28
4.4.6.	Bomba sumergible eléctrica de 2 KW, caudal 15 m3/hr, alt. manom de 60 m y NPSH de 8m	28
4.4.7.	Tubería HDPE para aguas claras, clase PN 10 de 64 mm, espesor 3.5 mm	28
4.4.8.	Válvulas Pinch	29
4.4.9.	Piscina de emergencia	29
4.4.10.	Carpeta geomembrana HDPE de 1.5 mm	30
4.4.11.	Bomba centrífuga eléctrica de 3 KW	30
4.4.12.	Tubería HDPE clase PN 10 de 50 mm	30
4.4.13.	Dren dedos drenantes de 30 m de largo	31
4.4.14.	Dren francés tipo 1 de 50 m de largo	31
4.4.15.	Dren francés tipo 2 de 30 m de largo	32
4.4.16.	Zanja colectora	33
4.4.17.	Dren alfombra.....	34
4.4.18.	Canal de desvío.....	35
4.4.19.	Piezómetros y Monolitos	36
4.4.20.	Excavación cubeta	36
4.4.21.	Maquinaria.....	36
4.4.22.	Plan de cierre	37
4.4.23.	Costos de energía y agua	38
4.5	Estimación de volumen del relave antiguo	39
4.5.1.	Transporte mediante camiones	41
4.5.2.	Transporte mediante tuberías.....	46
5.	 Resultados	48

5.1.	Costo de realizar el embalse con relaves frescos.....	48
5.1.1.	CAPEX	48
5.1.2.	OPEX	49
5.1.3.	Flujo de caja	49
5.2.	Costo de realizar el embalse con relaves frescos y relaves redepositados.....	50
5.2.1.	CAPEX	50
5.2.2.	OPEX	51
5.2.3.	Flujo de caja	52
6.	Discusión.....	53
6.1.	Estimación volumen relave antiguo	53
6.2.	Estimaciones de costos	53
6.3.	Calculo flujo de caja.....	54
7.	Conclusiones	55
8.	Referencias	56
9.	Anexos.....	58
9.1.	Estimación de volúmenes para drenes, zanja colectora y canal de desvío58	
9.2.	Estimación de costos de maquinaria y mano de obra	59
9.3.	Estimación OPEX	61
9.4.	Estimación Flujo de Caja	63

Índice de Figuras

Figura 1. Partes de un depósito de Relaves en general	6
Figura 2. Construcción del muro de un tranque de relaves.....	6
Figura 3. Tranque de relaves aguas arriba	7
Figura 4. Tranque de relaves aguas abajo.....	8
Figura 5. Tranque de relaves eje central o mixto	8
Figura 6. Embalse de relaves	9
Figura 7. Relaves Espesados	9
Figura 8. Relaves Filtrados	10
Figura 9. Relaves en Pasta.....	10
Figura 10. Parámetros por considerar en la construcción de depósitos de relaves	12
Figura 11. Relación de talud y revancha mínima de un depósito de relaves	12
Figura 12. Ubicación Planta El Arenal y muros del proyecto	14
Figura 13. Estimación área de relaves antiguos mediante Google Earth Pro ...	39
Figura 14. Distribución de áreas del relave antiguo	40
Figura 15. Estimación de ruta de camiones	42
Figura 16. Estimación ruta para envío de relaves mediante tuberías	46

Índice de Tablas

Tabla 1. Detalles del Embalse	15
Tabla 2. Características de la cubeta del embalse	16
Tabla 3. Características del muro resistente.....	16
Tabla 4. Dimensiones piscina de emergencia.....	18
Tabla 5. Datos históricos del tiempo en Quebrada de Herrera	23
Tabla 6. Estimación vida útil del relave.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7. Detalle de costos carpeta geosintética de bentonita	26
Tabla 8. Detalle de costos geomembrana HDPE 1.5 mm.....	27
Tabla 9. Detalle de costos defensa fluvial.....	27
Tabla 10. Detalle de costos bomba centrífuga eléctrica 5 KW	28
Tabla 11. Detalle de costos tuberías HDPE.....	28
Tabla 12. Detalle de costos de bomba sumergible eléctrica de 2 KW	28
Tabla 13. Detalle de costos tubería HDPE para aguas claras	29
Tabla 14. Detalle de costos de válvulas Pinch.....	29
Tabla 15. Detalle de costos piscina de emergencia.....	29
Tabla 16. Detalle de costos carpeta geomembrana HDPE 1.5 mm.....	30
Tabla 17. Detalle de costos bomba centrífuga eléctrica de 3 KW	30
Tabla 18. Detalle de costos tubería HDPE 50 mm.....	30
Tabla 19. Detalle de costos dren dedos drenantes.....	31
Tabla 20. Detalle de costos dren francés tipo 1	32
Tabla 21. Detalle de costos dren francés tipo 2	33
Tabla 22. Detalle de costos zanja colectora.....	34
Tabla 23. Detalle de costos dren alfombra.....	35
Tabla 24. Detalle de costos canal de desvío.....	35
Tabla 25. Detalle de costos equipos de monitoreo	36
Tabla 26. Detalle de costos excavación de cubeta	36
Tabla 27. Detalle de costos de maquinaria a utilizar.....	37
Tabla 28. Estimación gastos operacionales maquinaria	37
Tabla 29. Detalle de costos plan de cierre.....	38
Tabla 30. Detalle de costos de energía, agua y mano de obra.....	38

Tabla 31. Áreas, volúmenes y tonelajes de relave 1 y relave 2	41
Tabla 32. Estimación tonelaje de camión tolva de 9 m ³	43
Tabla 33. Estimación del costo total de envío de relaves mediante arriendo de camión	44
Tabla 34. Estimación del costo total de envío de relaves mediante la compra de un camión	45
Tabla 35. Estimación del costo total de envío de relaves mediante tuberías....	47
Tabla 36. CAPEX depositación de relaves frescos	49
Tabla 37. OPEX depositación de relaves frescos	49
Tabla 38. Resultados flujo de caja depositando relaves frescos.....	50
Tabla 39. CAPEX depositación de relaves frescos más depositación de relave antiguo por camiones.....	51
Tabla 40. CAPEX depositación de relaves frescos más depositación de relave antiguo por tuberías	51
Tabla 41. OPEX depositación de relaves frescos más depositación de relave antiguo por camiones.....	52
Tabla 42. OPEX depositación de relaves frescos más depositación de relave antiguo por tuberías	52
Tabla 43. Resultados flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos mediante camiones	52
Tabla 44. Resultados flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos mediante tuberías.....	53
Tabla 45. Estimación CAPEX y OPEX camión	59
Tabla 46. Estimación CAPEX y OPEX retroexcavadora	59
Tabla 47. Estimación CAPEX y OPEX retroexcavadora con martillo.....	60
Tabla 48. Estimación CAPEX y OPEX minicargador	60
Tabla 49. Estimación de costo de personal	61
Tabla 50. Estimación OPEX considerando la depositación de relaves frescos	61
Tabla 51. Estimación de OPEX considerando las opciones de depositar relaves viejos mediante tuberías o camiones	62
Tabla 52. Flujo de caja depositando relaves frescos	63

Tabla 53. Estimación Flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos por camiones 63

Tabla 54. Estimación Flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos por tuberías 63

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Distribución porcentual de depósitos de relaves en el país por región1	
Gráfico 2. Climograma Quebrada de Herrera	24
Gráfico 3. Diagrama de temperatura Quebrada de Herrera.....	24

1. Introducción

La minería es una de las principales actividades económicas en Chile y una de las más importantes en la zona norte del país. Si bien Chile es conocido como un gran productor de minerales desde la antigüedad, recién a partir del año 1990 la minería creció substancialmente, lo cual llevó también a un aumento de los desechos generados, entre ellos, los relaves¹, los que se producían a diario en las distintas plantas. Los volúmenes de relaves generados pueden llegar a genera un impacto ambiental, por lo que se deben manejar de forma adecuada.

En Chile existen alrededor de 740 depósitos de relaves distribuidos a lo largo de todo el país, donde aproximadamente el 99.3% de la masa de relaves producida anualmente se produce por la gran minería, sin dejar de lado la gran cantidad de relaves pequeños debido a la pequeña minería correspondiente al 0.70% (SERNAGEOMIN, Análisis del catastro de depósito de relaves en Chile y guía de estructura de datos, 2018).

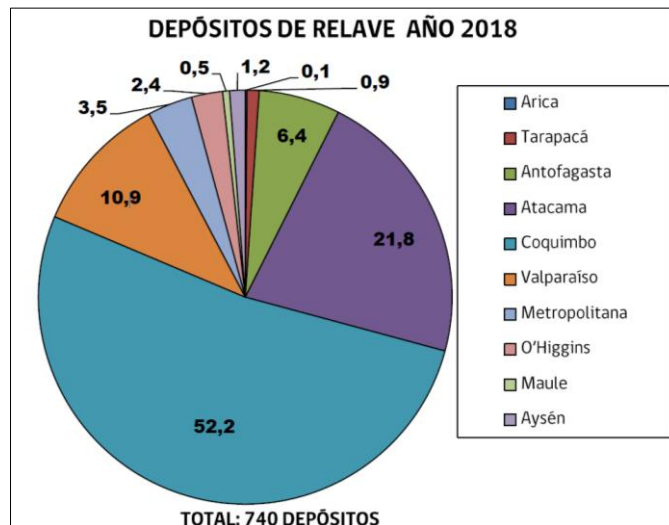


Gráfico 1. Distribución porcentual de depósitos de relaves en el país por región

¹ Relave: es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. Sólo una pequeña fracción corresponde al elemento de interés económico que se desea recuperar (algo menos de 1%). El resto del material (muy pobre en cobre) se denomina "relave", y se debe depositar de forma segura y ambientalmente responsable. (SERNAGEOMIN, Preguntas frecuentes sobre relaves, 2018)

Se estima que existe una producción de relave superior a 1.400.000 toneladas diarias y se espera que al año 2035 se duplique dicha cantidad (Palma, 2016).

Dentro de los problemas que presentan los relaves se tiene especial cuidado con las condiciones climáticas donde se va a emplazar, así como se debe considerar la sismicidad del lugar en el cual se va a construir, considerando además el método de construcción (tranque de relaves (aguas arriba, aguas abajo, eje central), embalse de relaves, depositación en pasta, entre otros) y la configuración geométrica del relave considerando aspectos como el volumen, altura y ángulo de talud.

Debido al gran incremento que va a presentar la producción, sumado a la escasez de superficie para los depósitos, es que se buscan metodologías y procedimientos adecuados para la depositación de los relaves, considerando el posible impacto ambiental que estos pasivos ambientales pueden llegar a generar.

Para el caso a trabajar, lo que se busca es poder llevar a cabo uno de los desafíos que presentan estos pasivos, con el fin de poder minimizar el impacto de las infiltraciones y asegurar la estabilidad de los depósitos. Esto se puede lograr ya sea: tratando, localizando y haciendo un seguimiento de las infiltraciones, impermeabilizando los futuros depósitos o aplicando nuevas técnicas de caracterización de sitios para emplazar depósitos.

Además de realizar la correspondiente estimación económica con el fin de presentar el presente documento como un primer acercamiento para poder realizar la normalización de la planta El Arenal y así volver a su funcionamiento normal en base al proyecto embalse de relave N°3, El Arenal aprobado por SERNAGEOMIN.

2. Objetivos y alcances

2.1. Objetivos Generales

Estimar los parámetros económicos de construcción, control, operación y plan de cierre del proyecto embalse de relaves “El Arenal N°3”.

2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información relevante para el desarrollo del proyecto Embalse de Relaves.
- Comparar parámetros reales versus parámetros de diseño del proyecto
- Estimación de volúmenes del relave nuevo y relave antiguo.
- Estimar CAPEX, OPEX y flujo de caja considerando parámetros reales del proyecto.
- Estimar CAPEX, OPEX y flujo de caja considerando parámetros reales del proyecto y redepositación de relave antiguo.

2.3. Alcances

El alcance de este trabajo considera:

- Datos “Proyecto Embalse de Relave N°3, El Arenal” aprobado por SERNAGEOMIN.
- La estimación del volumen del embalse de relaves corresponde a los datos del proyecto junto con la estimación mediante Google Earth.
- Se plantearán dos casos de estudio considerando la depositación de relaves frescos y la depositación de relaves frescos más la redepositación de relave antiguo para la estimación de CAPEX, OPEX y flujo de caja.
- Los diferentes costos están asociados a las cotizaciones realizadas en el mercado considerando la opción más acorde al proyecto.

3. Marco Teórico

3.1. Conceptos básicos y generalidades sobre los relaves

Se sabe que en el procesamiento de los minerales sulfurados de cobre sólo se recupera de la masa restante menos del 1% de la masa total removida del elemento de interés económico, mientras que el 99% de la masa restante termina siendo dispuesta en forma de residuo (pulpas minerales). Este residuo se denomina relave.

Este relave de minería no es en principio residuo tóxico, sino fundamentalmente roca molida y agua, por lo que no se considera como material tóxico (SERNAGEOMIN, Preguntas frecuentes sobre relaves, 2018). En caso de que ciertos relaves reaccionen con agua, dicha toxicidad puede aparecer solubilizando tóxicos los cuales se pueden transportar disueltos en agua y que podrían generar un daño para el ser humano debido a la cantidad de elementos que pueden resultar tóxicos para la salud.

Debido a que los depósitos de relaves son dispuestos a fin de satisfacer exigencias legales nacionales, se busca el completo aislamiento estos a fin de prevenir infiltraciones. La construcción del depósito presenta distintos métodos de diseño de construcción, dependiendo del tipo de depositación y de las características geográficas del sitio de emplazamiento. Los más comunes son: los tranques de relaves y los embalses de relaves.

Las partes principales de un depósito de relaves son (SERNAGEOMIN, Preguntas frecuentes sobre relaves, 2018):

- **Muro:** Obra de ingeniería que permite contener los residuos sólidos que en ella se descargan, es decir, delimita la cubeta.
- **Cubeta:** Corresponde al volumen físico disponible para el depósito de relaves (lamas), junto con gran parte del agua de los relaves. En la cubeta, el agua se localiza en la Laguna de Aguas Claras.
- **Laguna de Aguas Claras:** La depositación de relaves (lamas) en la cubeta, que llega en una mezcla del sólido con agua para su transporte,

en tanto los sólidos sedimentan a las capas inferiores, el agua forma esta laguna de aguas claras debido a la sedimentación de las partículas finas.

- **Sistema de drenaje:** Sistema utilizado para retirar al grado adecuado el agua del interior del muro, con el objetivo de deprimir al máximo el nivel freático en el interior del cuerpo del muro.
- **Revancha:** Es la diferencia menor, en cota, entre la línea de coronamiento del muro de contención y la superficie inmediatamente vecina de la fracción lamosa o de la superficie del agua, que se produce en los tranques y embalses de relaves.
- **Coronamiento:** Es la parte superior del prisma resistente o muro de contención, muy cercano a la horizontal.
- **Canal de contorno:** Canal de desvío de las aguas de la cuenca que captan y desvían las escorrentías superficiales, impidiendo el ingreso a la cubeta del depósito de relaves.
- **Playa activa:** Zona donde se descargan los relaves en la cubeta, se le denomina playa porque usualmente esta seca en la superficie y se asemeja a una playa de arenas finas. Es la parte del depósito de relaves o lamas situada en las cercanías de la línea de vaciado.
- **Laguna de aguas claras:** Corresponde a la laguna de clarificación que se forma en la cubeta debido a la sedimentación o decantación de las partículas sólidas.
- **Monolito:** Corresponde a un instrumento de medición para controlar el crecimiento del depósito y eventuales deformaciones.
- **Piezómetro:** Corresponde a un instrumento de medición, con el fin de detectar eventual presencia de agua al interior de la masa del muro de confinamiento.

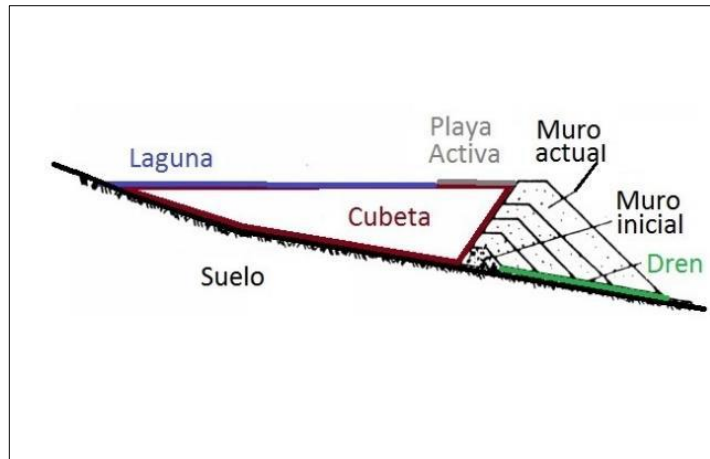


Figura 1. Partes de un depósito de Relaves en general

3.2. Tipos de Depósitos Relaves

3.2.1. Tranque de Relaves

Depósito en el cual el muro es construido por las partículas más gruesas (fracción gruesa) del relave, compactado y separados a través de un hidrociclón². Las partículas finas, denominadas lamas, se depositan en la cubeta del depósito. (SERNAGEOMIN, Preguntas frecuentes sobre relaves, 2018)

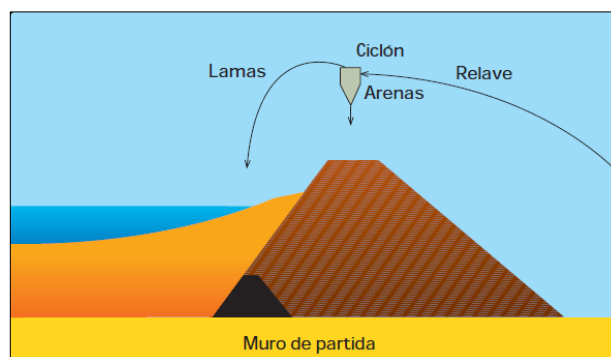


Figura 2. Construcción del muro de un tranque de relaves

² Equipo destinado principalmente a la separación de suspensiones sólido – líquido. La industria minera es el principal usuario, siendo aplicado en clasificación de líquidos, espesamiento, ordenamiento de partículas por densidad o tamaño y lavado de sólidos.

A continuación, se describen brevemente las alternativas para la construcción de un muro de un tranque de relaves:

(1) Aguas Arriba

Consiste en un muro inicial construido por un material de empréstito compactado sobre el cual se inicia la depositación de los relaves. Utilizando hidrociclones se separa la parte gruesa o arena de la parte fina (lamas), donde la parte gruesa se deposita en el muro por la parte inferior del hidrociclón mientras que los finos o lamas se depositan hacia el centro del tranque.

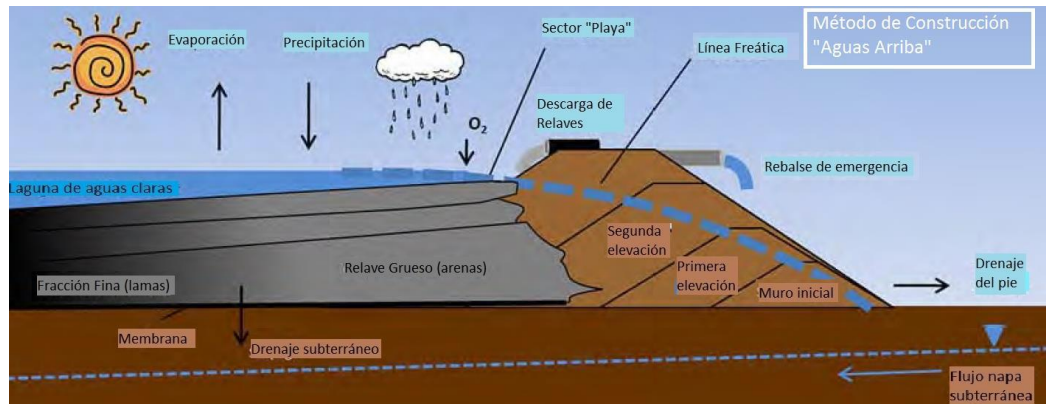


Figura 3. Tranque de relaves aguas arriba

(2) Aguas Abajo

La construcción se inicia con un muro de partida de material de empréstito compactado, pero en este caso las lamas se depositan hacia el talud aguas arriba y la parte gruesa se deposita agua abajo del muro de partida.

Este método de aguas abajo requiere disponer de un gran volumen de arenas y permite lograr muros resistentes más estables del punto de vista de la resistencia sísmica. (SERNAGEOMIN, Guía técnica de operación y control de depósito de relaves, 2007).

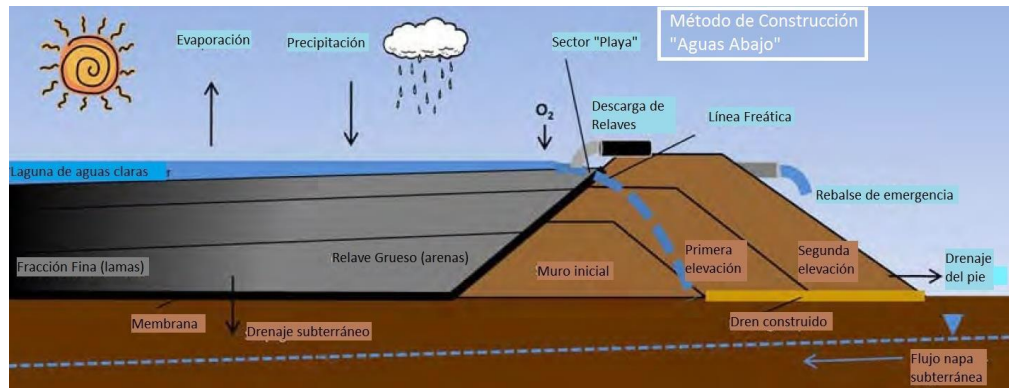


Figura 4. Tranque de relaves aguas abajo

(3) Eje Central o mixto

Al igual que los métodos anteriores se comienza con el muro de partida de material de empréstito compactado donde la parte gruesa se deposita hacia el lado de aguas abajo mientras que las lamas hacia el lado de aguas arriba.

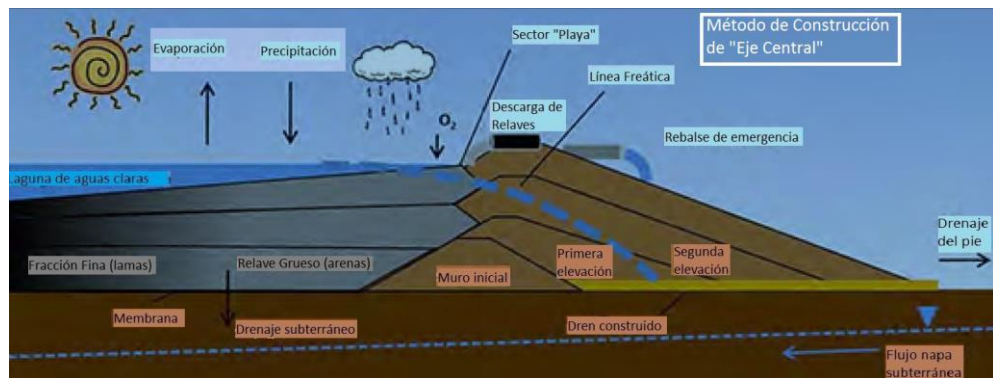


Figura 5. Tranque de relaves eje central o mixto

En Chile es común utilizar sólo dos de los tres métodos (aguas abajo y eje central o mixto) que se utilizan para la disposición de relaves mediante el método de tranque de relaves.

3.2.2. Embalse de Relave

Depósito donde el muro de contención es construido por material de empréstito (tierra y rocas aledañas) y se encuentra impermeabilizado tanto en su talud interno como en el coronamiento. Deben disponer de un sistema de evacuación de aguas claras de la laguna que se forma y son más resistentes que cualquier otro método desde el punto de vista sísmico.

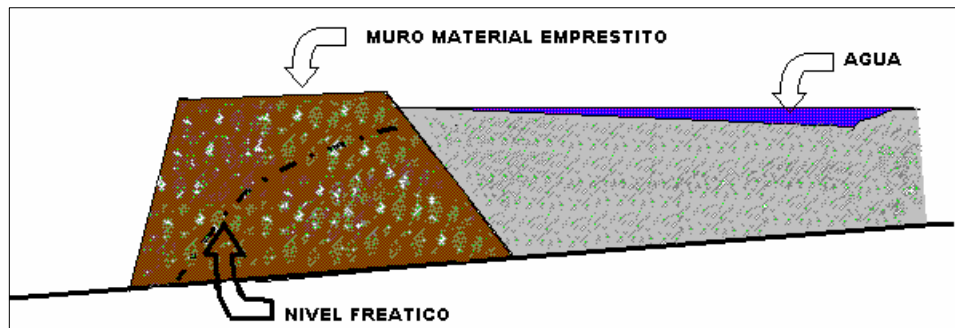


Figura 6. Embalse de relaves

3.2.3. Relave Espesado

Depósitos en el que la pulpa es previamente sometida a un proceso de desaguado mediante un espesador. Este espesador favorece la sedimentación de los sólidos con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida en la pulpa, la que puede ser reutilizada en procesos a fin de reducir el consumo hídrico de fuentes de agua limpia. Pueden ser utilizados con un grado de espesamiento del orden de 53% de sólidos en la descarga dependiendo de la reología de la pulpa lograda.

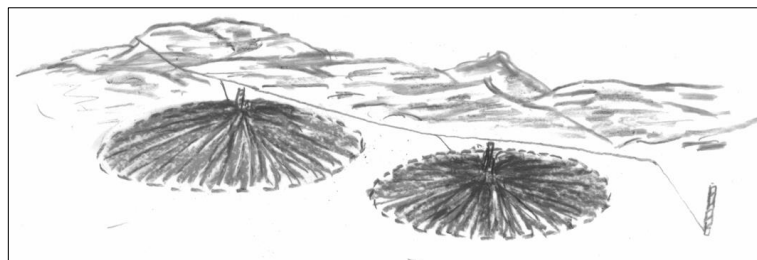


Figura 7. Relaves Espesados

3.2.4. Relave Filtrado

Proceso que considera el uso de un espesador y posteriormente un filtro, donde la cantidad agua residual en la pulpa es menor a 20% en peso.



Figura 8. Relaves Filtrados

3.2.5. Relave en Pasta

Similar al relave espesado, se utiliza contiguo al depósito un espesador en pasta, capaz de alcanzar concentraciones de sólidos en descarga menores a 60%. La pulpa presenta consistencia de pasta similar a una pulpa de alta densidad. El proceso se realiza normalmente al lado del depósito de relaves puesto que las pulpas presentan alta reología lo que hace difícil su desplazamiento.

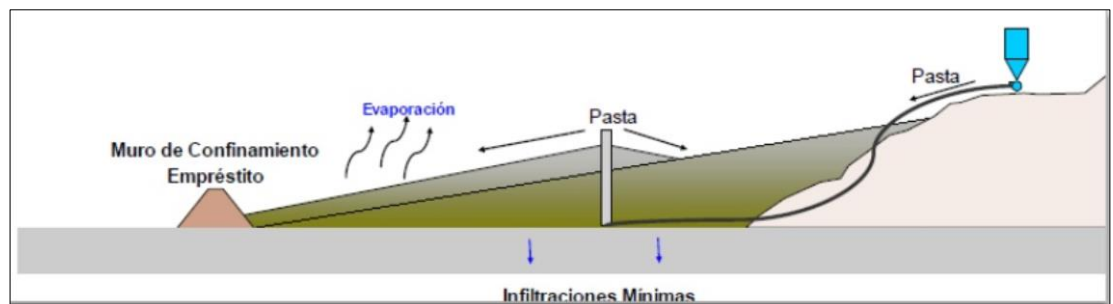


Figura 9. Relaves en Pasta

3.3. Construcción, operación y control de relaves

3.3.1. Construcción

Para una buena construcción del muro de un relave se debe preparar la zona del muro con un sistema de drenaje, donde se da inicio con una construcción de un pequeño muro inicial con material de empréstito para posteriormente depositar la fracción gruesa del relave sobre el muro inicial mediante hidrociclones.

Una medida importante a considerar en la construcción de los muros es la de evitar conformar esquinas en Angulo recto ya que constituyen uno de los puntos estructurales más débiles frente a sismos debido a bajo confinamiento, por lo que se aconseja establecer uniones redondeadas.

Si la compactación es deficiente existe una mayor probabilidad de que colapse el tranque de relaves frente a un sismo de grandes magnitudes, por lo que la compactación de los muros se debe realizar de forma periódica con el fin de ayudar a la estabilidad del relave.

Al momento de la construcción se debe realizar una buena compactación del terreno en el cual se van a depositar los relaves y es de suma importancia realizar una buena impermeabilización del muro para así poder evitar infiltraciones y ayudar a la estabilidad de los muros.

Con la construcción de los Depósitos de relaves se protege al medio ambiente, ya que al desecharlos en estas obras adecuadas y de ir recuperando el agua para ayudar a otros procesos, existe una gran posibilidad de retratamiento de estos materiales.

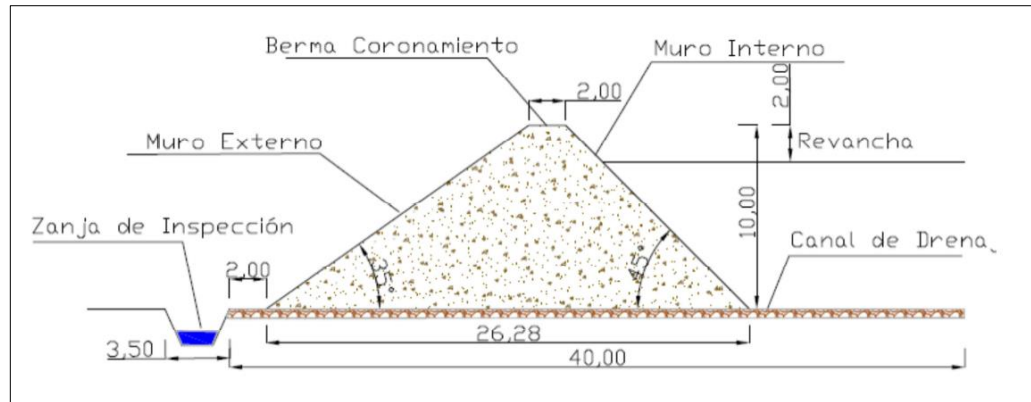


Figura 10. Parámetros por considerar en la construcción de depósitos de relaves

3.3.2. Operación

Respecto a la operación del relave, se debe tener un control de la cantidad y calidad de las arenas con el fin de mantener una altura y ángulos de talud que permitan una buena estabilidad del muro manteniendo una relación de talud de 3:1.

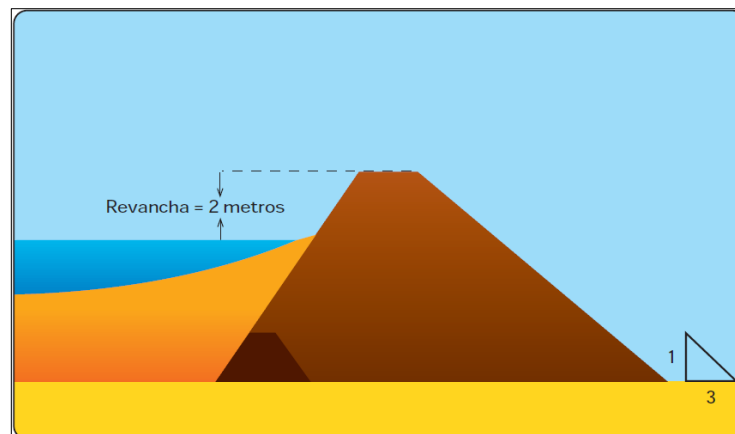


Figura 11. Relación de talud y revancha mínima de un depósito de relaves

Al interior del depósito se debe formar una playa de arenas, tratando de mantener las aguas claras alejadas del muro.

El desnivel entre el coronamiento del muro y la altura de la laguna de aguas claras debe tener una altura mínima de 2 metros.

Se debe hacer lo posible por recuperar las aguas claras ya sea desde la laguna y los drenes con el fin de recircularla a la planta de beneficio.

Durante la operación se deben reparar todas las fisuras o grietas con el fin de evitar la generación de puntos débiles los cuales al ser tapados por los relaves que se depositen posterior a estos no serán efectivos en dichos sectores.

Es muy importante compactar el talud externo a lo largo del muro de arenas utilizando equipos como rodillos lisos vibratorios, tractores o bulldozer pesados. Esto se realiza con el fin de poder tener una compactación adecuada ayudando a la estabilidad sísmica de la obra.

3.3.3. Control

Controlar el nivel freático con piezómetros en el muro de arenas ya que si el nivel freático es alto se debe proceder rápidamente a bajarlo, evacuando el agua clara de la laguna en la cubeta.

Es importante también medir y controlar el porcentaje de sólidos (entre 35% a 45%) en peso de la pulpa de los relaves, el cual debe mantenerse no tan alto para que se permita un buen escurrimiento de esta pulpa por la tubería de transporte, evitando su embancamiento y tampoco muy bajo para no saturar rápidamente de aguas la cubeta.

Se debe verificar el Angulo de talud operacional comprometido en el proyecto, así como el ancho de coronamiento el cual se exige un mínimo de 2 metros.

Verificar de forma periódica el estado de las tuberías de conducción de los relaves y también las válvulas y bombas de impulsión de las pulpas de relaves.

Ante alguna emergencia debido a fenómenos naturales, deberán suspenderse las operaciones de depositación de relaves, hasta que las condiciones de seguridad del depósito se restablezcan.

4. Desarrollo

4.1 Recopilación de datos de “PROYECTO EMBALSE DE RELAVE N°3, EL ARENAL” versus datos reales del proyecto.

El lugar donde se realizará el proyecto es en la localidad El Arenal, adyacente a la Quebrada seca, próximo al Estero Seco.

La instalación del embalse de relave N°3 se encuentra próximo de la Planta El Arenal y se ubica en:

Coordenadas U.T.M PSAD56:

6,385,267 metros; Este 335,576 metros (P1 muro)

6,385,455 metros; Este 335,598 metros (P2 muro)

6,385,400 metros; Este 335,425 metros (P3 muro)

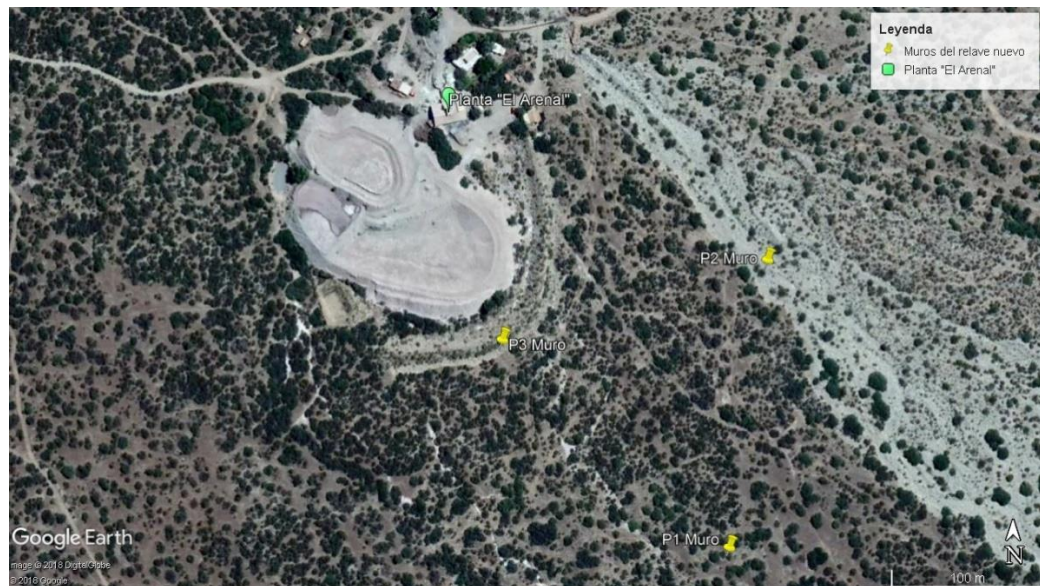


Figura 12. Ubicación Planta El Arenal y muros del proyecto

El proyecto presenta un ritmo de almacenamiento diario de 150 toneladas de relaves. La característica del relave corresponde a un limo de baja plasticidad, densidad de 1.52 ton/m³, peso específico de 2.8 t/m³, que será transportado hidráulicamente con una concentración media del 30% en peso de los sólidos de la pulpa.

La vigencia del proyecto será de 131 meses para la depositación de relaves.

Tabla 1. Detalles del Embalse

Revancha Mínima	1	metro
Dimensiones cubeta (Largo)	192	metros
(Ancho)	163	metros
Área o superficie	22,652	m ²
Capacidad de almacenamiento	388,158	m ²

La construcción de la cubeta del embalse será de un material de empréstito, donde la excavación será en el sector Noroeste del embalse a través del sistema de bancos y con las siguientes características:

Tabla 2. Características de la cubeta del embalse

Altura banco	8	metros
Ancho banco	4	metros
Número de bancos	3	
Pendiente de talud	1H:1V	
Angulo de talud banco	45	°
Altura de excavación máxima	24	metros (NW)
Altura de excavación máxima	0	metros (SE)
Angulo final excavación	33.6	°
Pendiente del fondo cubeta	-7,9	%
Cota inferior de fondo cubeta	750	m.s.n.m
Material por remover o excavar	212,177	m ²
Factor de Seguridad estática	1.5	
Factor de Seguridad pseudo estática	1.2	

La construcción del muro resistente será en dos fases, donde se utilizará un material granular seleccionado bajo 4", extraído de la zona de la cubeta del embalse N°3. Las características del muro resistente son:

Tabla 3. Características del muro resistente

Ancho basal	59	metros
Ancho coronamiento	5	metros
Altura	14	metros
Pendiente del muro exterior	2H:1V	
Pendiente del muro interior	1.85H:1V	
Volumen requerido	167,897	m ³
Cota fundación del muro	760	m.s.n.m

Para la impermeabilización del muro, consistirá primeramente en la colocación de una carpeta geosintética de bentonita (GCL) de 6mm con el fin de impermeabilizar y evitar el punzamiento de la carpeta siguiente; posteriormente la colocación de la carpeta geomembrana HDPE de 1,5 mm. de espesor, densidad 0,94 g/cm³, en donde las juntas de la geomembrana serán en uniones doble por termo fusión.

La colocación de la geomembrana se deberá efectuar sobre un terreno libre de material grueso, cuyo tamaño máximo de partícula será bajo 1", estableciendo así una preparación previa de la superficie.

Construcción de la defensa fluvial será en base a enrocado con bolones de tamaño inferior a 30" y sobre de 4" de diámetro y corresponderá aproximadamente el 26% del material removido.

La dimensión del enrocado será: 200 metros de largo, 4 metros de ancho y 1,5 metros de altura; superficie ubicada sobre la altura de 2,5 metros con respecto al lecho de la Quebrada Seca.

El traslado de relaves al embalse se va a realizar mediante una bomba centrífuga eléctrica de 5 KW, conducida mediante una tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) tipo PE 100 clase PN 10 de 4" de diámetro, resistencia 835,5 kPa en una extensión de 710 metros de largo.

Recuperación de aguas claras corresponde al funcionamiento del conjunto bomba, válvulas y ducto:

Bomba sumergible eléctrica de 2 KW montada sobre una balsa flotante, en la zona de aguas claras del embalse. Bomba diseñada para un caudal de 15 m³/hr., altura manométrica de 60 metros y NPSH de 8 metros.

La conducción de aguas claras hasta la piscina de sedimentación será de una extensión de 137 metros, corresponde a una tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) clase PN 10 de 2^{1/2}" de diámetro (64 mm), espesor de 3,5 mm.

Válvulas Pinch, ubicadas en ambos extremos de la red con el fin de impedir su descarga del fluido.

Piscina de emergencia será ubicada aguas abajo del embalse.

Sus dimensiones serán:

Tabla 4. Dimensiones piscina de emergencia

Largo	20	metros
Ancho	10	metros
Profundidad	2,5	metros
Talud interior	1H:1V	
Altura del espejo de agua	0,5	metros
Capacidad	400	m ³

El talud interior estará recubierto por una carpeta geomembrana HDPE de 1,5 mm. La piscina estará habilitada para operar en conjunto con una bomba centrífuga de 3 KW de potencia y una tubería HDPE clase PN 10 de 2" (50 mm) de diámetro que va a llegar al sector aguas claras del embalse.

Dren dedos drenantes de 30 metros de largo con forma de pirámide truncada, ubicados en la base de los muros laterales (2 unidades) con el fin de deprimir el nivel freático en el muro del embalse. Involucra la construcción de una zanja de 1.0 metros de profundidad, ancho superior de 1.6 metros y ancho inferior a 0.7 metros. Pendiente del talud de 1H:2V, que posteriormente será rellena con grava limpia de tamaño máximo 1" (áridos) y sobre ella, una capa filtro de arena de 0.30 metros de espesor y que descargará directamente en la zanja colectora.

Dren francés tipo 1 de 50 metros de largo con forma de pirámide truncada ubicada en la parte lateral del embalse. Involucra la construcción de una zanja de 2.5 metros de profundidad, ancho superior de 3 metros y ancho inferior a 0.7 metros. Pendiente del talud de 1H:2V, en su interior se colocará un tubo corrugado perforado tipo N-6 de 6" de diámetro, que posteriormente será rellena con grava limpia de tamaño máximo 2" (áridos) de 2 metros de espesor y sobre ella, una capa filtro de arena de 0.5 metros de espesor y que descargará directamente en la Quebrada Seca.

Dren francés tipo 2 de 30 metros de largo con forma de pirámide truncada ubicada en la base de muro frontal (2 unidades). Involucra la construcción de una zanja de 1.5 metros de profundidad, ancho superior de 1.6 metros y ancho inferior a 0.7 metros. Pendiente del talud de 1H:2V, en su interior se colocará un tubo corrugado perforado tipo N-6 de 6" de diámetro, que posteriormente será rellena con grava limpia de tamaño máximo 1" (áridos) de 1 metros de espesor y sobre ella, una capa filtro de arena de 0.5 metros de espesor y que descargará directamente en la zanja colectora.

Dren alfombra (2 unidades) ubicadas en ambos extremos del muro, cuyas dimensiones serán de 60 metros de largo y 30 metros de ancho, diseñado con el fin de deprimir el nivel freático en el muro del embalse, consiste rellenar la base del muro resistente, con material granular de grava limpia de tamaño máximo 1" en un espesor de 0.7 metros y posteriormente una capa superior de arena de 0.3 metros.

Zanja colectora (2 unidades) que va por el pie externo del talud del muro del embalse, con una extensión de 355 metros y la otra de 235 metros, cuya finalidad es recolectar las filtraciones provenientes de los drenes francés y dren alfombra; que descargará finalmente a la piscina de emergencia. La sección corresponde a 1 metro de profundidad, 1 metro de ancho en la parte superior y de 0.5 metros en la parte inferior, con una

pendiente del talud de 1H:2V y será revestida de hormigón H:20 de 10 cms de espesor.

Vertedero de emergencia o seguridad, será construido de forma lateral en la zona excavada en terreno natural en el sector Nor Este y próximo a la Quebrada Seca, con el fin de evacuar aguas, en eventuales ingresos o acumulación de agua por pluviometrías altas, el umbral será de mampostería en piedra u hormigón armado de 0.5 metros de espesor, ancho de 5 metros, largo de 57.9 metros, pendiente -4.67% y que posteriormente pasará por bajo de la defensa fluviales, a través de dos tubos de 12" de diámetro.

Canal de desvío para capturar el escurrimiento de aguas de lluvia, que podrían llegar al embalse y que descargará directamente a la Quebrada Seca, de 50 metros de largo, sección rectangular de 0.4 metros de ancho, profundidad de 0.6 metros, pendiente 1.25%, hecha en mampostería en piedra 0.1 metros u hormigón armado de 0.1 metros de espesor, diseñado para evacuar un caudal máximo instantáneo de 0.30 m³/seg., para un periodo de retorno de 50 años.

Monitoreo

Será mediante 3 piezómetros ubicados en el coronamiento del muro final para controlar el nivel freático del agua en el muro del embalse y además de 4 monolitos para el control de asentamiento.

Plan de cierre

- Retiro de cañerías, bombas y tendidos eléctricos
- Neutralización con cal de las aguas resultantes del embalse en caso de producir aguas acidas
- Cierre perimetral con malla tipo gallinero, sujetas con rollizos de maderas impregnados de 4", para impedir el acceso de personas y animales

- Cobertura de una capa granular de 0,2 metros de espesor, sobre la superficie del embalse con el propósito de reducir la erosión eólica y pluvial
- Estabilización de los taludes de excavación del terreno natural, generados en la etapa de construcción de la cubeta para contener eventuales crecidas de la Quebrada Seca
- Construcción de vertedero de seguridad o emergencia

4.2 Comparación de datos de “Proyecto Embalse De Relave N°3, El Arenal” versus datos reales del proyecto y parámetros no considerados.

Se realiza la comparación de los datos presentados en el “Proyecto Embalse de Relave N°3 El Arenal” en comparación a los datos que realmente se presentan en la planta El Arenal, donde hay diversos factores que van a afectar la toma de decisiones respecto a los costos considerados para los casos presentados, donde se presentan las opciones de depositar relaves frescos y la otra opción de depositar relaves frescos más la redepositación de los relaves antiguos.

Se presentan a continuación los parámetros que difieren con los valores dados en el proyecto o parámetros que no están considerados para la operación y/o control del proyecto:

4.2.1. Ritmo de almacenamiento diario

El proyecto presenta la opción de depositar 150 toneladas diarias de relave, pero la planta se encontraba depositando 24 toneladas de relaves por día, lo cual difiere mucho de lo que indica el proyecto actual.

Actualmente la planta no se encuentra funcionando debido a una solicitud de SERNAGEOMIN de disponer el cierre total y temporal de los depósitos

de relaves de la faena minera Planta el Arenal de la empresa Sociedad Minera Serpromin Limitada hasta que:

- Se construya el depósito de relaves aprobado o cuente con un depósito debidamente autorizado
- Regularice el embalse en que actualmente se encuentra depositando relaves
- Presentar medidas de cierre que garanticen la estabilidad física y química del Tranque de Relaves de la Planta el Arenal

Es por este motivo que se presentan las dos opciones en este trabajo, seguir depositando relaves a un ritmo diario de 24 tpd o en su defecto considerar las 24 tpd de relaves sumado a la diferencia de las 150 tpd de relaves del proyecto, por lo cual se considera la opción de redepositar y a su vez dar la opción de normalizar el relave antiguo. Estas opciones estarían abarcando todos los puntos que menciona SERNAGEOMIN para el cierre de la planta, lo cual al construir el relave nuevo y normalizar el relave antiguo la planta volvería a su funcionamiento normal.

4.2.2. Clima

Otro punto que no considera el proyecto es el clima que presenta la zona donde este se va a emplazar.

Para este caso se analiza el clima del pueblo aledaño de Quebrada de Herrera ubicado a 1.3 Km de la planta El Arenal, donde el clima se conoce como un clima de estepa local. A lo largo del año se dan pocas precipitaciones, donde el clima en esta zona se clasifica como BSK³ por el

³ Bsk es el clima mediterráneo seco es el que se da como transición entre el mediterráneo típico y el desértico y se caracteriza por la aridez la mayor parte del año. Tiene unas temperaturas invernales más cálidas que el clima mediterráneo típico y con menos lluvias, que oscilan entre los 200 y 400 mm. Se le considera una variante del clima subtropical seco y del semi-árido cálido, siempre que la temperatura media anual supere los 18°C.

sistema Köppen-Geiger. La temperatura media anual es de 16.2 °C, mientras que la precipitación media es de 227 mm.

El mes más frio es junio con una media de 10.8 °C, mientras que la temperatura más alta es de 21.7 °C promedio en el mes de enero, como se ve en el Gráfico 2.

Tabla 5. Datos históricos del tiempo en Quebrada de Herrera

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	21.7	21.5	19.7	16.7	13.5	10.8	10.9	11.6	13.2	15.7	18.4	20.6
Temperatura min. (°C)	12.9	12.6	10.7	8.2	6.4	4.5	4.3	4.6	5.9	7.7	9.7	12
Temperatura máx. (°C)	30.6	30.5	28.7	25.3	20.6	17.1	17.6	18.6	20.5	23.8	27.1	29.3
Temperatura media (°F)	71.1	70.7	67.5	62.1	56.3	51.4	51.6	52.9	55.8	60.3	65.1	69.1
Temperatura min. (°F)	55.2	54.7	51.3	46.8	43.5	40.1	39.7	40.3	42.6	45.9	49.5	53.6
Temperatura máx. (°F)	87.1	86.9	83.7	77.5	69.1	62.8	63.7	65.5	68.9	74.8	80.8	84.7
Precipitación (mm)	1	1	0	9	34	58	58	32	17	8	8	1

La variación de precipitaciones entre los meses más secos y más húmedos es 58 mm, lo cual es un valor relevante ya que este dato nos sirve para poder identificar un posible problema en el relave referente a las lluvias en la zona, lo cual podría generar posibles rebalses en la cubeta. En caso de que se produzcan lluvias de mayores precipitaciones, se debe tener un control y monitoreo del relave.

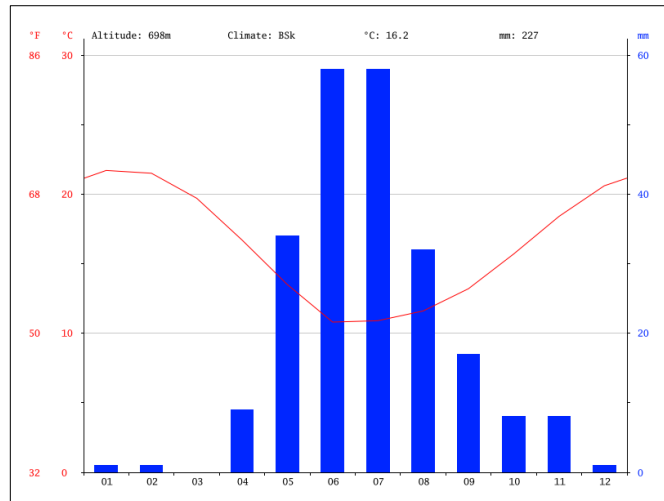


Gráfico 2. Climograma Quebrada de Herrera

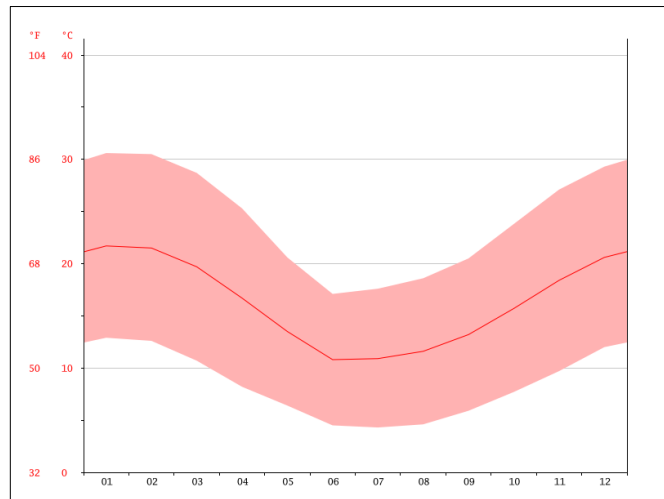


Gráfico 3. Diagrama de temperatura Quebrada de Herrera

4.3 Estimación vida útil del proyecto

Debido a que el Proyecto Embalse De Relave N°3 El Arenal presenta una capacidad de almacenamiento de relaves total de 388.158 m³, se llevará a cabo el cálculo de vida útil de este relave considerando las dos opciones presentadas, ya sea depositando relaves frescos o la opción de depositar relaves frescos más relaves antiguos.

Capacidad relave				
Capacidad relave nuevo	388,158	m3		
Tonelaje relave nuevo	590,000	ton		
Días trabajados	334	días		
densidad relave	1.52	ton/m3		
Deposición relaves antiguo	24	tpd	8,016	tpa
Deposición relaves antiguos más relaves frescos	150	tpd	50,100	tpa
Vida útil con 24 tpd	74	años		
Vida útil con 150 tpd	11.8	años		

En la Tabla 6, se aprecia el cálculo de la vida útil del proyecto considerando la deposición de relaves del proyecto (150 tpd de relave) versus las toneladas que se encontraba depositando la Plata El Arenal (24 tpd de relave).

Si consideramos que el proyecto se ejecutará de tal forma que sólo se envían 24 tpd de relaves la vida útil del proyecto se alarga hasta casi 74 años, lo cual es un parámetro muy alto considerando que la vida útil de los relaves varía entre los 10 a 20 años. En el caso de las 150 tpd de relaves, se encuentra un valor más acorde a la cantidad que se indica en el proyecto (131 meses u 11 años aproximadamente).

Sumado a estos parámetros y considerando que se va a trabajar en dos posibles escenarios, se lleva a cabo la evaluación económica del proyecto abarcando y desglosando los distintos costos de capital y operativos para dar una estimación aproximada de cuanto sale realizar ese proyecto, dando esta posible opción a la empresa dueña de la Planta El Arenal para poder así normalizar la situación de la planta y seguir activa en el mercado.

4.4 Materiales e insumos para la construcción del embalse de relaves

Una vez recopilada la información sobre el proyecto, se realiza el correspondiente desglose de los materiales e insumos que el proyecto va a requerir, considerando los mencionados en el proyecto, así como algunos nuevos insumos los cuales se ven involucrados en el mismo.

Dichos insumos van a ser descritos con su respectivas dimensiones y requerimientos y estimando su costo total en base a las diferentes cotizaciones realizadas con distintas empresas, así como recopilaciones de costos vía internet para realizar la estimación de ciertos productos.

4.4.1. Carpeta geosintética de bentonita (GCL) 6 mm espesor

Utilizada para la permeabilización del muro resistente

Tabla 6. Detalle de costos carpeta geosintética de bentonita

Unidades	1	
Cantidad	22,652	m2
Costo Unitario	\$ 10.0	US\$/m2
Costo total	\$ 226,520	US\$

4.4.2. Geomembrana HDPE 1,5 mm espesor; dens: 0.94 G/cm3

Utilizada para la impermeabilización del muro posterior a la instalación de la carpeta geosintética de bentonita.

Tabla 7. Detalle de costos geomembrana HDPE 1.5 mm

Unidades	1	
Cantidad	22,652	m2
Costo Unitario	\$ 3.2	US\$/m2
Costo total	\$ 72,486	US\$

4.4.3. Construcción defensa fluvial

Tabla 8. Detalle de costos defensa fluvial

Construcción defensa fluvial		
largo	200	m
ancho	4	m
alto	1.5	m
volumen total por remover	1,200	m3
Costo	381	US\$

4.4.4. Bomba centrífuga eléctrica de 5 KW

Utilizada para el traslado de relaves hacia el embalse, la cual requiere un circuito paralelo en caso de emergencia requiriendo 2 unidades.

Tabla 9. Detalle de costos bomba centrífuga eléctrica 5 KW

Unidades	2	
Costo Unitario	\$ 800.0	US\$
Costo total	\$ 1,600	US\$

4.4.5. Tubería HDPE tipo PE 100 clase PN 10 de 4" de diámetro resist. 835.5 kPa

Utilizada para el traslado de relaves hacia el embalse, la cual requiere un circuito paralelo en caso de emergencia requiriendo 2 unidades.

Tabla 10. Detalle de costos tuberías HDPE

Unidades	2	
Cantidad	710	m2
Costo Unitario	\$ 5.8	US\$/m2
Costo total	\$ 8,236	US\$

4.4.6. Bomba sumergible eléctrica de 2 KW, caudal 15 m3/hr, alt. manom de 60 m y NPSH de 8m

Utilizada para la recuperación de aguas claras en el embalse

Tabla 11. Detalle de costos de bomba sumergible eléctrica de 2 KW

Unidades	1	
Costo Unitario	\$ 747	US\$
Costo total	\$ 747	US\$

4.4.7. Tubería HDPE para aguas claras, clase PN 10 de 64 mm, espesor 3.5 mm

Utilizada para la recuperación de aguas claras en el embalse

Tabla 12. Detalle de costos tubería HDPE para aguas claras

Unidades	1	
Cantidad	137	m2
Costo Unitario	\$ 4.4	US\$/m2
Costo total	\$ 603	US\$

4.4.8. Válvulas Pinch

Utilizada para la recuperación de aguas claras en el embalse

Tabla 13. Detalle de costos de válvulas Pinch

Unidades	2	
Costo Unitario	\$ 346.7	US\$
Costo total	\$ 693	US\$

4.4.9. Piscina de emergencia

Destinada para capturar filtraciones de aguas del muro resistente dispuestos a través de los dedos drenantes y dren alfombra.

Tabla 14. Detalle de costos piscina de emergencia

Piscina de emergencia		
largo	20	m
ancho	10	m
alto	2	m
capacidad piscina	400	m3
Costo	127	US\$

4.4.10. Carpeta geomembrana HDPE de 1.5 mm

Utilizada en la piscina de emergencia

Tabla 15. Detalle de costos carpeta geomembrana HDPE 1.5 mm

Unidades	1	
Cantidad	160	m2
Costo Unitario	\$ 3.4	US\$/m2
Costo total	\$ 544	US\$

4.4.11. Bomba centrífuga eléctrica de 3 KW

Utilizada en la piscina de emergencia

Tabla 16. Detalle de costos bomba centrífuga eléctrica de 3 KW

Unidades	1	
Costo Unitario	\$ 441	US\$
Costo total	\$ 441	US\$

4.4.12. Tubería HDPE clase PN 10 de 50 mm

Utilizada en la piscina de emergencia

Tabla 17. Detalle de costos tubería HDPE 50 mm

Unidades	1	
Cantidad	137	m2
Costo Unitario	\$ 3.8	US\$/m2
Costo total	\$ 521	US\$

4.4.13. Dren dedos drenantes de 30 m de largo

Destinadas a deprimir el nivel freático en el muro del embalse

Tabla 18. Detalle de costos dren dedos drenantes

Dren dedos drenantes		
largo	30	m
unidades	2	uni
Zanja		
profundidad	1	m
ancho superior	1.6	m
ancho inferior	0.7	m
Volumen por remover	67	m3
talud	1H:2V	
costo zanja	21	US\$
Relleno		
Grava limpia 1"	94	US\$
Capa de arena 0.30 m espesor	28	US\$
Costo total dren dedos drenantes	144	US\$

4.4.14. Dren francés tipo 1 de 50 m de largo

Destinadas a deprimir el nivel freático en el muro del embalse

Tabla 19. Detalle de costos dren francés tipo 1

Dren francés tipo 1		
largo	50	m
unidades	2	uni
Zanja		
profundidad	2.5	m
ancho superior	3	m
ancho inferior	0.7	m
talud	1H:2V	
Volumen por remover	429	m ³
Tubo Corrugado tipo N-6 de 6"	1,218	US\$
Costo zanja	136	US\$
Relleno		
Grava limpia 2" de 2 m espesor	482	US\$
Capa de arena 0.5 m espesor	121	US\$
Costo total dren francés tipo 1	1,956	US\$

4.4.15. Dren francés tipo 2 de 30 m de largo

Destinadas a deprimir el nivel freático en el muro del embalse

Tabla 20. Detalle de costos dren francés tipo 2

Dren francés tipo 2		
largo	30	m
unidades	2	uni
Zanja		
profundidad	1.5	m
ancho superior	1.6	m
ancho inferior	0.7	m
talud	1H:2V	
Volumen por remover	101	m3
Tubo Corrugado tipo N-6 de 6"	731	US\$
Costo zanja	32	US\$
Relleno		
Grava limpia 1" de 1 m espesor	94	US\$
Capa de arena 1 m espesor	94	US\$
Costo total dren francés tipo 2	951	US\$

4.4.16. Zanja colectora

Tiene como finalidad recolectar las filtraciones provenientes de los drenes francés y dren alfombra

Tabla 21. Detalle de costos zanja colectora

Zanja Colectora		
Unidades	2	uni
Largo Zanja Colectora 1	355	m
Largo Zanja Colectora 2	235	m
Dimensión zanja		
profundidad	1.5	m
ancho superior	1	m
ancho inferior	0.5	m
talud	1H:2V	
Volumen a remover zanja 1	784	m ³
Volumen a remover zanja 2	519	m ³
costo zanja 1	249	US\$
costo zanja 2	165	US\$
Revestida con hormigón H:20 de 10 cms de espesor	2,802	US\$
Costo total zanja colectora	3,215	US\$

4.4.17. Dren alfombra

Destinadas a deprimir el nivel freático en el muro del embalse

Tabla 22. Detalle de costos dren alfombra

Dren alfombra		
largo	60	m
ancho	30	m
profundidad	1	m
unidades	2	uni
volumen total	3,600	m3
costo dren alfombra	1,144	US\$
Grava limpia 1" de 0.7 m espesor	1,769	US\$
Capa de arena 0.3 m espesor	758	US\$
Costo total dren alfombra	3,672	US\$

4.4.18. Canal de desvío

Captura el escurrimiento de las aguas lluvia que podrían llegar al embalse

Tabla 23. Detalle de costos canal de desvío

Canal de desvío		
largo	50	m
ancho	0.4	m
profundidad	0.6	m
pendiente	1.25	%
Volumen por remover	12	m3
costo canal de desvío	4	US\$
Dos tubos de 12" diámetro	430	US\$
Costo total vertedero de emergencia	434	US\$

4.4.19. Piezómetros y Monolitos

Destinados a monitorear el nivel freático del agua en el muro del embalse y para el control de asentamiento

Tabla 24. Detalle de costos equipos de monitoreo

Monitoreo		
Monolitos	4	uni
Costo monolito	100	US\$/uni
Piezómetros	3	uni
Costo piezómetros	400	US\$/uni
Costo total monitoreo	1,600	US\$

4.4.20. Excavación cubeta

Excavación para dar la base a la cubeta del embalse de relaves

Tabla 25. Detalle de costos excavación de cubeta

Excavación cubeta		
Total a remover	212,177	m3
Costo	67,431	US\$

4.4.21. Maquinaria

Equipos destinados tanto para remover tierras y también para el uso en el posible traslado de relaves desde el relave antiguo.

El costo total en la tabla 27 incluye sólo la compra del equipo.

Tabla 26. Detalle de costos de maquinaria a utilizar

Maquinaria	Costo Unitario (US\$)	Cantidad	Costo Total (US\$)
Camión tolva 9 m3	\$ 26,606	1	\$ 26,606
Retroexcavadora 1.4m3 (JCB 4X4 3CX)	\$ 29,562	1	\$ 29,562
Retroexcavadora con martillo 1.4m3 (JCB 4X4 3CX)	\$ 36,952	1	\$ 36,952
Minicargador BOB CAT S185 0.86 m3	\$ 22,171	1	\$ 22,171
TOTAL			\$ 141,896

Los gastos operacionales desglosados en la Tabla 28, incluyen los sueldos de los operadores (incluyendo colaciones y seguros), gastos de mantención, repuestos de neumáticos y gasto de combustible.

Tabla 27. Estimación gastos operacionales maquinaria

Estimación gastos operacionales		
Operador	\$ 124,800	US\$/año
Mantención	\$ 29,000	US\$/año
Neumáticos	\$ 31,250	US\$/año
Combustible	\$ 7,431	US\$/año
OPEX Total Maquinaria	\$ 192,481	US\$/año

4.4.22. Plan de cierre

Acorde al proyecto y lo que considera el Reglamento de Seguridad Minera

Tabla 28. Detalle de costos plan de cierre

Plan de Cierre	Costo Unitario (US\$)	Unidad
Retiro de cañerías, bombas y tendidos eléctricos	\$ 2,102	US\$
Malla tipo gallinero, rollizos de maderas impregnados de 4"	\$ 1,616	US\$
Capa granular de 0,2 m	\$ 4,304	US\$
Construcción vertedero de seguridad	\$ 476	US\$
Costo total	\$ 8,497	US\$

4.4.23. Costos de energía y agua

Los costos de energía y agua están en base a las empresas asociadas a la zona de Putaendo, considerando el costo unitario para el agua y la electricidad. La mano de obra corresponde al costo por hora de los trabajadores considerados en el proyecto y en las maquinarias.

Tabla 29. Detalle de costos de energía, agua y mano de obra

Ítem	Costo	Unidad
Energía	\$ 0.11	US\$/KWh
Mano de Obra	\$ 7.78	US\$/h
Agua	\$ 0.83	US\$/h

4.5 Estimación de volumen del relave antiguo

Una vez calculada la vida útil considerando los parámetros del proyecto donde se presenta la capacidad del embalse de relaves, la estimación de dicho volumen ya se encuentra realizada, es por este motivo que sólo se debe realizar la estimación del embalse de relaves antiguo con el fin de conocer el posible volumen que este presenta y a su vez determinar la vida útil del proyecto considerando los dos casos aplicados.

Considerando que el proyecto va a funcionar con la depositación de 150 tpd de relaves, se tiene que la planta estaría enviando 24 tpd de relaves frescos al relave. De ser así, las toneladas que se deberían enviar desde el relave antiguo (considerando la opción de depositar este pasivo en el relave a construir), sería de 126 tpd de relaves.

Una vez calculadas las toneladas se realiza la estimación del área mediante el programa de Google Earth Pro, donde se realiza una aproximación del área dando un valor aproximado de 12,291 metros cuadrados.



Figura 13. Estimación área de relaves antiguos mediante Google Earth Pro

Debido a que Google Earth Pro considera el relave como si no existiera, se realiza una estimación de la altura y considerando las visitas a terreno

el relave presenta dos alturas distintas, por lo cual considerando el área total estimada por Google Earth Pro y unas alturas aproximadas de 10 y 7 metros, presentando la siguiente distribución.



Figura 14. Distribución de áreas del relave antiguo

Una vez realizada esta distribución, se lleva a cabo la estimación de los volúmenes para los relaves con el fin de conocer el tonelaje que presenta cada relave y el tonelaje total que presenta el relave antiguo, como se muestra a continuación en la Tabla 31.

Tabla 30. Áreas, volúmenes y tonelajes de relave 1 y relave 2

relave 1		
Área relave 1	4,796	m2
Altura relave 1	10	m
Volumen relave 1	47,960	m3
Tonelaje relave 1	134,288	ton
relave 2		
Área relave 2	7,495	m2
Altura relave 2	7	m
Volumen relave 2	52,465	m3
Tonelaje relave 2	146,902	ton
Ton R1 + R2	281,190	ton

Considerando el caso de normalizar este relave y depositarlo en el relave nuevo que se va a construir, se presentan dos opciones para el traslado del material: mediante camiones o tuberías.

Dependiendo de cada caso se llevará a cabo una estimación adicional del posible costo para cada caso donde el mejor caso será considerado dentro de los costos del proyecto.

4.5.1. Transporte mediante camiones

La primera opción presenta y considerando que el proyecto considera la depositación diaria de 150 toneladas de relaves, se lleva a cabo la estimación del envío de relaves antiguos al relave nuevo mediante un camión de 9 m3 considerando índices de Asarco y los volúmenes estimados en el punto 4.5.

Se plantea una posible ruta, considerando una distancia adecuada con el fin de poder cumplir con la cantidad de relaves que se debe enviar

diariamente, la cual corresponde a 126 toneladas de relaves. La ruta planteada considera un camino el cual ya está construido y una parte la cual se debe construir (342 m), la cual se estima su construcción en dos días máximo.



Figura 15. Estimación de ruta de camiones

Estimada la ruta, se consideran los índices de Asarco para estimar la producción por hora del camión y así poder cumplir con el tonelaje del relave. Los parámetros por considerar para este cálculo se desglosan en la Tabla 32.

Tabla 31. Estimación tonelaje de camión tolva de 9 m³

Envío de relaves antiguos mediante camiones			
Asarco	UT	REND	DISP
	0.85	0.83	0.9
distancia relave nuevo	1.13	km	
masa tolva	9	m ³	
densidad relave	1.52	ton/m ³	
toneladas tolva	8.69	ton	
t carga y descarga	0.25	h	
Velocidad promedio camión	14	km/h	
	30	km/h	
t viaje cargado	0.08	h	
t viaje descargado	0.04	h	
t ciclo	0.6	h	
toneladas por hora	14.05	ton/h	1 camión
toneladas por día	126.0	tpd	
cantidad de viajes por día	15	viajes	

Una vez realizada la producción diaria del camión, se lleva a cabo el cálculo del volumen (realizado en el punto 4.5) y los días que va a demorar en ser transferido el relave antiguo hacia el relave nuevo.

A su vez se consideran dos posibles opciones: el arriendo de un camión considerando el costo de petróleo y operador o la compra de un camión, considerando los neumáticos, mantenciones, gasto de combustible y operadores.

Se van a comparar los costos anuales con el fin de determinar la mejor opción para el proyecto considerando los menores costos para los posteriores cálculos.

(1) Estimación de costos considerando el arriendo de un camión

Tabla 32. Estimación del costo total de envío de relaves mediante arriendo de camión

Envío de relaves antiguos mediante camiones		
densidad relave	2.8	t/m3
relave 1		
Área relave 1	4,796	m2
Altura relave 1	10	m
Volumen relave 1	47,960	m3
Tonelaje relave 1	134,288	ton
Días totales R1	1,166	días
relave 2		
Área relave 2	7,495	m2
Altura relave 2	7	m
Volumen relave 2	52,465	m3
Tonelaje relave 2	146,902	ton
Días totales R2	1,066	días
Ton R1 + R2	281,190	ton
Días R1 + R2	2,232	días
Años de operación	7	años
Costo arriendo camión	\$ 37	US\$/h
Construcción camino	\$ 140	US\$
Costo anual	\$ 148,436	US\$/año
Costo total por años de operación	\$1,039,053	US\$

El costo total de la Tabla 33 va a ser considerado anualmente debido a que el arriendo del camión es diario, por lo cual afecta directamente al costo final del envío de relaves mediante el arriendo de un camión.

(2) Estimación de costos considerando la compra de un camión

Tabla 33. Estimación del costo total de envío de relaves mediante la compra de un camión

Considerando la compra de un camión		
Compra camión	\$ 26,606	US\$
operador	\$ 800	US\$/mes
	\$ 9,600	US\$/año
mantención	\$ 7,250	US\$/año
neumáticos	\$ 6,250	US\$/uni
	2	unidades
	\$ 12,500	US\$/año
combustible	\$ 1.10	US\$/l
consumo camión	2	km/l
	16	l/día
	\$ 18.03	US\$/día
	\$ 6,022.30	US\$/año
Construcción camino	\$ 140	US\$
costo total (OPEX)	\$ 35,372	US\$
costo total (CAPEX)	\$ 26,746	US\$

El costo total tanto CAPEX y OPEX de la Tabla 32 son considerados anualmente, así como también se estiman los distintos gastos operativos del camión considerando el sueldo del operador (incluyendo alimentación y seguros), mantención, neumáticos y el consumo de combustible.

Considerando las distintas opciones, se llega a la conclusión de que es más viable realizar una compra del camión, lo cual genera una inversión en a largo plazo mucho más factible que el caso de arrendar un equipo durante los 7 años que dura el traslado del relave antiguo al nuevo.

4.5.2. Transporte mediante tuberías

La segunda opción presentada es el transporte de relaves mediante tuberías considerando también la producción diaria de relaves 150 toneladas de relave total (126 toneladas enviadas desde el relave antiguo). Los parámetros considerados y desglosados en la Tabla 35 fueron estimados en base a una pulpa con un porcentaje de 30% de contenido de sólidos, para poder estimar la masa total de líquido (agua) que se va a requerir para poder transportar el relave mediante tuberías cumpliendo con los requerimientos técnicos basados en los parámetros del proyecto embalse de relaves El Arenal N°3.

La distancia desde el relave antiguo al relave nuevo es diferente a la considerada para el traslado mediante camiones, considerando una distancia de 270 metros como se muestra en a figura 16.



Figura 16. Estimación ruta para envío de relaves mediante tuberías

Tabla 34. Estimación del costo total de envío de relaves mediante tuberías

Envío de relaves antiguos mediante tuberías		
Porcentaje de sólidos en pulpa	30%	
bomba 2 KW	11.3	m3/h
masa liquido	656,110	m3 agua
masa pulpa	756,535	m3 de pulpa
horas de funcionamiento	66,950	h
Años de operación	9	años
densidad pulpa	1.24	ton/m3
Toneladas de pulpa por hora	14.00	ton pulpa/hora
Toneladas de pulpa por día	126	tpd
Toneladas de sólidos por día	4.20	ton solido
costo unitario agua	\$ 0.83	US\$/m3
caudal planta	7.91	m3/h
costo por hora agua	\$ 6.53	US\$/h
costo anual agua	\$ 52,375	US\$/año
tuberías	270	m
	\$ 1,566	US\$
energía	\$ 1,794	US\$/año
bomba 2 KW	\$ 747	US\$
mantención bomba	\$ 2,500	US\$/año
mantención tubería	\$ 685	US\$/año
mano de obra	\$ 10,464	US\$/año
costo total (OPEX)	\$ 67,817	US\$
costo total (CAPEX)	\$ 2,313	US\$

Todos los parámetros se estimaron en base a los parámetros presentados en el proyecto principal, como el porcentaje de sólidos, los gastos de electricidad y agua, tuberías, bomba centrífuga y mano de obra.

5. Resultados

Los resultados finales se estimaron en base a las mejores opciones presentadas para el proyecto, considerando los costos que se ajusten de mejor forma a este con el fin de minimizar la inversión y los gastos operativos durante los años que se encuentre operativo el relave.

Consideraciones

- Se consideró una contingencia general del proyecto del 25 %
- El desglose en detalle de los costos tanto de capital como operativos se van a mencionar en los anexos
- Las estimaciones se realizaron en dólares americanos, específicamente considerando el valor del dólar observado del mes de diciembre (1 US\$ equivale a 676.55 CLP)

5.1. Costo de realizar el embalse con relaves frescos

Para este caso se consideraron las variables asociadas a la depositación diaria de 24 toneladas de relaves, considerando los parámetros asociados en base a esta producción y en conjunto con los requerimientos que el proyecto embalse de relaves El Arenal presenta.

5.1.1. CAPEX

El costo de capital el cual se va a invertir considera principalmente los materiales e insumos que se requieren para el proyecto los cuales fueron desglosados en el punto 4.4 del presente documento.

Para este caso se toman en cuenta las consideraciones mencionadas anteriormente y las variables asociadas a la cantidad diaria depositada de relaves.

Tabla 35. CAPEX depositación de relaves frescos

CAPEX	\$ 516,092	US\$
contingencia	25%	
contingencia	\$ 129,023	US\$
CAPEX Total	\$ 645,114	US\$

5.1.2. OPEX

El gasto operacional que presenta el proyecto en este caso será desglosado en los anexos, donde se consideraron los gastos energéticos y de agua, así como los distintos gastos asociados a la maquinaria y personal de trabajo para el proyecto.

Tabla 36. OPEX depositación de relaves frescos

OPEX	\$ 228,455	US\$/año
Contingencia	25%	
Contingencia	\$ 57,114	US\$/año
OPEX TOTAL	\$ 285,569	US\$/año

5.1.3. Flujo de caja

Para el cálculo del flujo de caja se consideró la fórmula de valor actual de costo con el fin de poder estimar el costo total durante los años que se va a encontrar operativo el relave.

Se consideró una tasa de descuento en base a un benchmarking realizado con una planta de similares características con un costo de oportunidad de 12% (Flores, 2013).

Tabla 37. Resultados flujo de caja depositando relaves frescos

t	12	años
r	10%	
VAC	\$ 2,590,896	US\$

El costo estimado corresponde al cálculo del costo total del proyecto durante los 12 años de operación, considerando solo la depositación de relaves frescos (24 tpd de relaves). Cabe destacar que al considerar la depositación de relaves frescos la vida útil del proyecto es aproximadamente de 74 años, pero para este caso se consideran 12 años con el fin de realizar la comparación de los flujos de caja posteriores, donde se consideran la depositación de relaves frescos más los relaves antiguos.

5.2.Costo de realizar el embalse con relaves frescos y relaves redepositados

Para la estimación de los costos en este caso se consideraron dos posibles casos, por lo cual se estimaron dos CAPEX, OPEX y flujos de caja con el fin de presentar las opciones de depositación de relaves antiguos sumado a la depositación de relaves frescos, cumpliendo así con la producción diaria de relave a depositar por día.

5.2.1. CAPEX

El costo de capital para estos casos considera el CAPEX desglosado en el punto 5.1.1 sumado a los costos calculados en los puntos 4.5.1 y 4.5.1 del presente documento.

Tabla 38. CAPEX depositación de relaves frescos más depositación de relave antiguo por camiones

CAPEX por camiones	\$ 542,184	US\$
contingencia	25%	
contingencia	\$ 135,546	US\$
CAPEX total por camino	\$ 677,729	US\$

Tabla 39. CAPEX depositación de relaves frescos más depositación de relave antiguo por tuberías

CAPEX por tuberías	\$ 517,751	US\$
contingencia	25%	
contingencia	\$ 129,438	US\$
CAPEX total por tuberías	\$ 647,189	US\$

En este caso se hace la comparación para poder determinar que opción es la mejor para poder realizar las correspondientes inversiones, ya sea mediante tuberías o camiones.

5.2.2. OPEX

El costo operacional para este caso considera las estimaciones realizadas en el punto 5.1.2 del presente documento, considerando a su vez los gastos operacionales tanto de los camiones y tuberías consideradas en los puntos 4.5.1 y 4.5.2 respectivamente.

Tabla 40. OPEX depositación de relaves frescos más depositación de relave antiguo por camiones

OPEX por camiones	\$ 263,828	US\$/año
contingencia	25%	
contingencia	\$ 65,957	US\$/año
OPEX total por camiones	\$ 329,785	US\$/año

Tabla 41. OPEX depositación de relaves frescos más depositación de relave antiguo por tuberías

OPEX por tuberías	\$ 296,273	US\$/año
contingencia	25%	
contingencia	\$ 74,068	US\$/año
OPEX total por tuberías	\$ 370,341	US\$/año

En los casos presentados, lo que se busca también es generar una toma de decisiones respecto a cuál es la mejor alternativa para el proyecto, considerando los gastos operacionales asociados al traslado mediante camiones o tuberías.

5.2.3. Flujo de caja

Para el cálculo del flujo de caja, se consideraron las dos opciones de depositación de relaves antiguos sumado a la depositación de relaves frescos. Se estima un VAC para cada caso, un costo de oportunidad de 12% y un periodo acorde a los mencionados en el proyecto de 12 años.

Tabla 42. Resultados flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos mediante camiones

t	12	años
r	10%	
VAC camiones	\$ 2,924,781	US\$

Tabla 43. Resultados flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos mediante tuberías

t	12	años
r	10%	
VAC tuberías	\$ 3,170,577	US\$

Los resultados de ambos flujos permiten tomar una decisión del proyecto en base a cuanto se va a gastar durante los 12 años de duración del proyecto.

6. Discusión

6.1. Estimación volumen relave antiguo

Debido a que el volumen calculado se realizó en base a una estimación por Google Earth, el cálculo del volumen puede diferir con respecto al volumen real que pueda tener el relave antiguo.

Debido a esto se recomienda realizar un estudio topográfico con el fin de determinar con exactitud el volumen y así poder estimar de mejor forma los años que va a demorar enviar el relave hacia el relave nuevo. Esto va a afectar directamente en los costos tanto operativos como de capital, los cuales, al tener una estimación de volumen más exacta, se puede saber de mejor forma el gasto real que se va a incurrir en el proyecto.

6.2. Estimaciones de costos

Debido a que la estimación de los costos es un primer acercamiento a cuanto se podría invertir en el proyecto, la estimación de los costos operacionales y de capital se realizaron en base a las distintas cotizaciones, es por este motivo que muchos costos puedan diferir al momento de querer realizar el proyecto, así como se pueden realizar nuevas cotizaciones y así incluso poder determinar de mejor forma CAPEX y OPEX, disminuyendo los costos haciendo que el proyecto sea más asequible.

Se recomienda realizar una nueva estimación al momento de realizar e invertir en el proyecto con el fin de realizar una nueva estimación de costos en base a la fecha que se pretenda realizar, teniendo así una estimación más exacta y acorde al momento que se quiera invertir.

6.3. Calculo flujo de caja

El cálculo del flujo de caja tanto como para el transporte de relaves antiguos mediante tuberías y camiones se realizó considerando los gastos operativos constantes durante la duración del proyecto.

Cada estimación tiene una duración diferente, por lo tanto el cálculo de flujo de caja se recomienda realizarlo de forma que cada proyecto sea acorde a cómo va avanzando el proyecto en base al avance real que se tenga, donde en ambos casos se generan años sin que estos operen, por lo cual se puede realizar una estimación acorde a que el transporte de relaves antiguos se haga de tal forma que dure los 12 años que presenta el proyecto de embalse de relaves El Arenal N°3.

7. Conclusiones

De acuerdo con los antecedentes revisados y presentados durante el proyecto embalse de relaves El Arenal N°3 podemos concluir que:

- El proyecto aprobado por SERNAGEOMIN se encuentra dentro del marco ambiental, considerando los aspectos físicos y químicos que debe presentar un relave, así como el cumplimiento de todos los aspectos legales presentados por las entidades que regulan estos pasivos.
- Los parámetros, insumos y materiales se basaron en los mencionados en el proyecto, así como los valores reales que la planta El Arenal presentaba hasta el momento de que dejó de funcionar, es por esto por lo que el proyecto es una nueva oportunidad y un acercamiento a una posible activación de la planta, considerando la normalización del relave y la construcción del relave nuevo, tomando así dos puntos que SERNAGEOMIN propuso para la normalización de la planta.
- Los resultados económicos presentan una opción de inversión exterior con el fin de que el dueño de la planta se asocie a un inversionista en caso de que el no desee invertir en el proyecto.
- Este primer acercamiento económico sirve de referencia para poder presentar este proyecto como propuesta a un inversionista considerando datos reales y aproximados en base al proyecto embalse de relave N°3 El Arenal.
- Se recomienda tomar la opción de construcción del relave considerando la depositación de relaves frescos más el envío de relaves antiguos mediante camiones. Esto, ya que se presenta una inversión inicial tal vez una poco mayor, pero al considerar los gastos operativos a lo largo de la duración del proyecto es más conveniente económicamente hablando.

8. Referencias

- Aguamarket. (9 de diciembre de 2018). *Aguamarket*. Obtenido de https://www.aguamarket.com/sql/cotizacionesAM/detalle_cotizacion.asp?idOferta=128631&nombreproducto=valvula+pinch
- Bernal, M. (diciembre de 2012). Estabilidad sísmica en presa de relave construida por el método de eje central. Santiago.
- Chilquinta Energía S.A. (2018). Taifas de siministro eléctrico.
- Climate-Data. (2018). *Climate-Data*. Obtenido de Climate-Data: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/chile/v-region-de-valparaiso/quebrada-de-herrera-148700/#climate-table>
- Cosmoplas. (2017). Cosmoplas - Lista de precios.
- CYPE Ingenieros S.A. (2018). *Generador de precios.Chile*. Obtenido de <http://www.chile.generadordeprecios.info/>
- Dossil Automotriz. (diciembre de 2018). *Dossil Chile*. Obtenido de <http://dossilchile.cl/automotriz>
- ESVAL S.A. (7 de Septiembre de 2018). Tarifas de agua.
- Fabbri, C. (21 de octubre de 2014). *Prezi*. Obtenido de Prezi: https://prezi.com/alpo0_126vfq/instrumentacion-y-monitoreo-de-tranques-de-relave/#
- Flores, R. (2013). *Estudio de pre-factibilidad técnico económica de diseño de una planta hidrometalúrgica*.
- Ministerio de Minería. (11 de abril de 2007). Decreto Supremo N° 248, Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves.
- Palma, D. J. (10 de agosto de 2016). Operación y Control de tranques de relaves. *Operación y Control de tranques de relaves*.

SCN-LAVALIN. (octubre de 2011). Depósito Relaves en Pasta Sector 5 - COEMIN S.A.

SERNAGEOMIN. (31 de diciembre de 2007). Guía técnica de operación y control de depósito de relaves. *Guía técnica de operación y control de depósito de relaves.*

SERNAGEOMIN. (2018). *Análisis del catastro de depósito de relaves en Chile y guía de estructura de datos.*

SERNAGEOMIN. (23 de Septiembre de 2018). *Atlas de Depósitos de Relaves de Chile.* Obtenido de Atlas de Depósitos de Relaves de Chile: <http://relaves.sernageomin.cl/#/home>

SERNAGEOMIN. (17 de Mayo de 2018). Preguntas frecuentes sobre relaves. Obtenido de SERNAGEOMIN: <http://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>

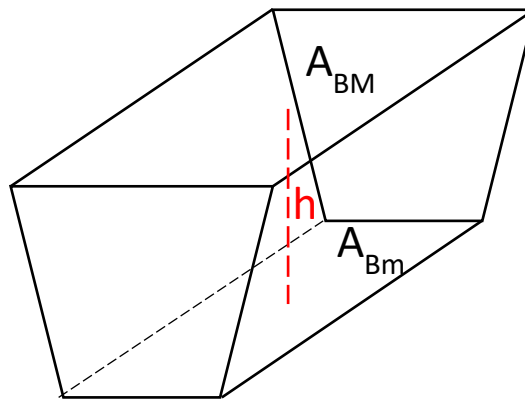
SERNAGEOMIN, SONAMI, & BGR. (2003). *Guía de buenas prácticas para la pequeña minería.*

9. Anexos

9.1. Estimación de volúmenes para drenes, zanja colectora y canal de desvío

El volumen se estimó en base a la fórmula de un tronco de pirámide considerando los datos que el proyecto proporcionaba.

El volumen de un tronco de pirámide, tanto regular como irregular, se calcula a partir del área de las bases (A_{BM} y A_{Bm}) y de la altura (h) del tronco de pirámide. La altura es la distancia entre las dos bases.



$$Volumen = \frac{h}{3} (A_{BM} + A_{Bm} + \sqrt{A_{BM} * A_{Bm}})$$

Siendo h la altura del tronco de pirámide, A_{BM} el área de la base mayor y A_{Bm} el área de la base menor.

9.2. Estimación de costos de maquinaria y mano de obra

Tabla 44. Estimación CAPEX y OPEX camión

Camión		
Cantidad	1.00	uni
Compra camión	\$ 26,606	US\$
operador	2	personas
	\$ 1,300	US\$/mes
	\$ 31,200	US\$/año
mantención	\$ 7,250	US\$/año
neumáticos	\$ 6,250	US\$/uni
	2	unidades
	\$ 12,500	US\$/año
combustible	\$ 1.10	US\$/l
consumo camión	2	km/l
	16	l/día
	\$ 18	US\$/día
	\$ 6,022	US\$/año
costo total (OPEX)	\$ 56,972	US\$
costo total (CAPEX)	\$ 26,606	US\$

Tabla 45. Estimación CAPEX y OPEX retroexcavadora

Retroexcavadora		
Cantidad	1.00	uni
Compra retroexcavadora	\$ 29,562	US\$
operador	2	personas
	\$ 1,300	US\$/mes
	\$ 31,200	US\$/año
mantención	\$ 7,250	US\$/año
neumáticos	\$ 6,250	US\$/uni
	1	unidades
	\$ 6,250	US\$/año
combustible	\$ 1.10	US\$/l
consumo retroexcavadora	4	km/l
	0.5	l/día
	\$ 0.55	US\$/día
	\$ 184	US\$/año
costo total (OPEX)	\$ 44,884	US\$
costo total (CAPEX)	\$ 29,562	US\$

Tabla 46. Estimación CAPEX y OPEX retroexcavadora con martillo

Retroexcavadora con martillo		
Cantidad	1.00	uni
Compra retroexcavadora	\$ 36,952	US\$
operador	2	personas
	\$ 1,300	US\$/mes
	\$ 31,200	US\$/año
mantención	\$ 7,250	US\$/año
neumáticos	\$ 6,250	US\$/uni
	1	unidades
	\$ 6,250	US\$/año
combustible	\$ 1.10	US\$/l
consumo retroexcavadora	3	km/l
	1	l/día
	\$ 0.73	US\$/día
	\$ 245	US\$/año
costo total (OPEX)	\$ 44,945	US\$
costo total (CAPEX)	\$ 36,952	US\$

Tabla 47. Estimación CAPEX y OPEX minicargador

Minicargador		
Cantidad	1.00	uni
Compra minicargador	\$ 22,171	US\$
operador	2	personas
	\$ 1,300	US\$/mes
	\$ 31,200	US\$/año
mantención	\$ 7,250	US\$/año
neumáticos	\$ 6,250	US\$/uni
	1	unidades
	\$ 6,250	US\$/año
combustible	\$ 1.10	US\$/l
consumo minicargador	3	km/l
	3	l/día
	\$ 2.93	US\$/día
	\$ 980	US\$/año
costo total (OPEX)	\$ 45,680	US\$
costo total (CAPEX)	\$ 22,171	US\$

Tabla 48. Estimación de costo de personal

Personal	Costo unitario (US\$/año)	Cantidad	Costo total (US\$/año)
Supervisores en terreno	\$ 2,924	2	\$ 5,848
Prevención en terreno	\$ 2,924	2	\$ 5,848
Personal de Mantenición	\$ 872	2	\$ 1,744

9.3. Estimación OPEX

Tabla 49. Estimación OPEX considerando la depositación de relaves frescos

ITEM	Consumo	Unidad	Costo Unitario	Unidad CU	Costo Total (US\$/año)
Electricidad	10	KW	0.11	US\$/KWh	\$ 8,968
Agua	1.57	m3/h	\$ 0.83	US\$/m3	\$ 10,382
Bencina	-	-	\$ 7,431	US\$	\$ 7,431
Neumáticos	-	-	\$ 31,250	US\$	\$ 31,250
Mantenición maquinaria (repuestos e instalación)	-	-	\$ 29,000	US\$	\$ 29,000
Mantenición de bombas y tuberías (repuestos e instalación)	-	-	\$ 3,185	US\$	\$ 3,185
Operadores maquinaria	-	-	\$ 124,800	US\$	\$ 124,800
Supervisores en terreno	-	-	\$ 5,848	US\$	\$ 5,848
Prevención en terreno	-	-	\$ 5,848	US\$	\$ 5,848
Personal de Mantenición	-	-	\$ 1,744	US\$	\$ 1,744

Tabla 50. Estimación de OPEX considerando las opciones de depositar relaves viejos mediante tuberías o camiones

ITEM	Consumo	Unidad	Costo Unitario	Unidad CU	Costo Total (US\$/año)
Electricidad	10	KW	0.11	US\$/KWh	\$ 8,968
Agua	1.57	m3/h	\$ 0.83	US\$/m3	\$ 10,382
Bencina	-	-	\$ 7,431	US\$	\$ 7,431
Neumáticos	-	-	\$ 31,250	US\$	\$ 31,250
Mantenimiento maquinaria (repuestos e instalación)	-	-	\$ 29,000	US\$	\$ 29,000
Mantenimiento de bombas y tuberías (repuestos e instalación)	-	-	\$ 3,185	US\$	\$ 3,185
Operadores maquinaria	-	-	\$ 124,800	US\$	\$ 124,800
Supervisores en terreno	-	-	\$ 5,848	US\$	\$ 5,848
Prevención en terreno	-	-	\$ 5,848	US\$	\$ 5,848
Personal de Mantenimiento	-	-	\$ 1,744	US\$	\$ 1,744
Relave antiguo por camiones	-	-	\$ 35,372	US\$	\$ 35,372
Relave antiguo por tuberías	-	-	\$ 67,817	US\$	\$ 67,817

9.4. Estimación Flujo de Caja

Tabla 51. Flujo de caja depositando relaves frescos

Flujo de caja depositando relaves frescos													
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
CAPEX	\$ 645,114												
OPEX		\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569	\$ 285,569
Flujo de caja acumulado		\$ 930,684	\$ 1,216,253	\$ 1,501,822	\$ 1,787,392	\$ 2,072,961	\$ 2,358,530	\$ 2,644,100	\$ 2,929,669	\$ 3,215,238	\$ 3,500,808	\$ 3,786,377	\$ 4,071,946

Tabla 52. Estimación Flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos por camiones

Flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos por camiones													
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
CAPEX	\$ 677,729												
OPEX		\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785	\$ 329,785
Flujo de caja acumulado		\$ 1,007,514	\$ 1,337,299	\$ 1,667,084	\$ 1,996,868	\$ 2,326,653	\$ 2,656,438	\$ 2,986,222	\$ 3,316,007	\$ 3,645,792	\$ 3,975,576	\$ 4,305,361	\$ 4,635,146

Tabla 53. Estimación Flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos por tuberías

Flujo de caja depositando relaves frescos más relaves antiguos por tuberías													
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
CAPEX	\$ 647,189												
OPEX		\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341	\$ 370,341
Flujo de caja acumulado		\$ 1,017,529	\$ 1,387,870	\$ 1,758,211	\$ 2,128,552	\$ 2,498,893	\$ 2,869,234	\$ 3,239,575	\$ 3,609,916	\$ 3,980,256	\$ 4,350,597	\$ 4,720,938	\$ 5,091,279